

**MODELO TÉCNICO – ECONÓMICO DE OPTIMIZACIÓN
DEL DIMENSIONAMIENTO DE LAS RUTAS DE
TRANSMISIÓN DE ACUERDO A LAS CURVAS DE TRÁFICO**

ERNESTO RAMÍREZ MONCADA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2007

**MODELO TÉCNICO – ECONÓMICO DE OPTIMIZACIÓN
DEL DIMENSIONAMIENTO DE LAS RUTAS DE
TRANSMISIÓN DE ACUERDO A LAS CURVAS DE TRÁFICO**

ERNESTO RAMÍREZ MONCADA

**Trabajo de Grado para optar al título
de Especialización en Telecomunicaciones**

Asesor

JOSÉ RICARDO DÍAZ ESPINOZA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2007

RESUMEN

TITULO: MODELO TÉCNICO – ECONÓMICO DE OPTIMIZACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LAS RUTAS DE TRANSMISIÓN DE ACUERDO A LAS CURVAS DE TRÁFICO*

AUTOR: RAMIREZ MONCADA, Ernesto **

PALABRAS CLAVES: Tráfico, Economía, Teoría de Colas, Probabilidad, Telecomunicaciones, Transmisión, Erlang B, Congestión, Ocupación, Grado de Servicio, Telefonía, Datos.

A través de este estudio se busca formular un método que permita dimensionar la capacidad de una ruta de transmisión, de tal manera que reporte la mayor ganancia a la compañía dueña del recurso. El modelo esta basado en la teoría de tráfico tradicional (Erlang B) y se tiene como base dos servicios para distribuir la capacidad del enlace.

El método consiste en el cálculo de la ocupación y congestión del recurso asignado a Telefonía de Larga Distancia, en base a la curva de tráfico del enlace y la capacidad otorgada al mismo. De esta manera se calcula el tráfico que en realidad se cursa por este enlace y así mismo las ganancias generadas por este y por el excedente que se vende para solución de datos.

Al aplicar el método se encuentra que se obtiene un margen de ganancias mayor para un caso real, y por lo tanto es viable su implementación. Adicionalmente se encuentra que el modelo se comporta de manera eficaz ante curvas de tráfico escalón por lo que se espera se comporte bien ante cualquier tipo de tráfico de voz. El comportamiento del modelo mejora ante una alta varianza del tráfico, lo que implica que se obtienen mejores resultados con tráfico con picos.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas - Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Especialización en Telecomunicaciones, Director: José Ricardo Díaz Espinoza.

ABSTRACT

TITLE: TECHNO-ECONOMIC MODEL OF DIMENSION'S TRANSMISSION ROUTES OPTIMIZATION SINCE TRAFFIC CURVES*

AUTHOR: RAMIREZ MONCADA, Ernesto**

KEY WORDS: Traffic, Economy, Queuing Theory, Probability, Telecommunications, Transmission, Erlang B, Congestion, Occupation, Quality of Service, Telephony, Data.

This work presents a way to make a method that permits give the correct dimension of a transmission route; this method has to maximize the earnings of resource's owner company. The model is based on traditional traffic theory (Erlang B) and it has two services to spread the capacity of the link.

The method consist in calculate occupation and congestion of the capacity assigned to Large Distance Telephony, this is made in base of link's traffic curve and the value of capacity to this service. Then, it calculates the real traffic by this service (Large Distance Telephony). With this value, it calculates true maximized earnings by Telephony, and the earnings by Data Service are giving by capacity surplus.

When this method is applied, the study finds that exist an earning's margin biggest than he margins that it can obtain with traditional theory in a case of a real telecommunications network. In Addition, the study finds that the model has an effective behavior with delta traffic curves, and then it has a good behavior with any type of voice traffic curve. The behavior of method increase with a large variance of traffic, this means that the model could obtain better results when traffic has many peaks.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas - Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Especialización en Telecomunicaciones, Director: José Ricardo Díaz Espinoza.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera especial a todo el equipo de Infraestructura Santander de Telefónica – Telecom, quienes con su paciencia y dedicación hicieron posible este trabajo, en especial, José Ricardo Díaz y Julio Cesar Manzano, cuyas enseñanzas son invaluable tanto en el campo profesional como personal.

También quiero agradecer a mi familia por brindarme la oportunidad de llevar a cabo cada uno de mis sueños, a mi mamá, mi papá, mi hermano y mi abuelita.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. TEORÍA DE TRÁFICO, BASES Y PRINCIPIOS	13
2.1. DEFINICIÓN DE TRÁFICO	13
2.2. PROCESO DE GENERACIÓN DE LLAMADAS	15
2.3. DISTRIBUCIÓN DE ERLANG B	19
3. IDENTIFICACIÓN DE LA CURVA DE TRÁFICO PARA UN CASO DE TELECOM	24
3.1. CARACTERIZACIÓN DE CURVAS DE TRÁFICO	24
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA RUTA BUCARAMANGA – SAN GIL	25
4. RECOLECCIÓN DE DATOS DE COSTOS ENLACES DEDICADOS Y DE LLAMADAS DE LARGA DISTANCIA	32
5. MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE RUTAS DE ACUERDO A LA CURVA DE TRÁFICO	35
5.1. DIMENSIONAMIENTO CON EL MÉTODO ACTUAL SEGUIDO EN TELECOM	35
5.2. DIMENSIONAMIENTO POR MÉTODOS ECONÓMICOS	36
5.3. COMPARTAMIENTO DEL MODELO CON LA VARIACIÓN DE LA RELACIÓN MÁXIMO – MEDIA	38
5.4. COMPARTAMIENTO DEL MODELO CON LA VARIACIÓN DEL ANCHO DEL TRÁFICO PICO	42
5.5. MODELO TÉCNICO – ECONÓMICO APLICADO A LA RUTA BUCARAMANGA – SAN GIL	47
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52

7. BIBLIOGRAFÍA	55
A. ANEXO 1 CODIGO FUENTE MODELO DE TRÁFICO	57

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Mapa de estados para el proceso de nacimiento y muerte de conexiones telefónicas.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2 Mapa de Estados para un proceso Markoviano con circuitos finitos</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3 Curva de ErlangB</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4 Diagrama Lógico de Interconexión Centrales Bucaramanga - San Gil</i>	<i>26</i>
<i>Figura 5 Distribución Normal</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6 Curva de tráfico característica Bucaramanga - San Gil Semanal.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 7 Curva de tráfico característica Bucaramanga - San Gil Diaria.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8 Curva de tráfico característica Bucaramanga - San Gil Diaria (Lunes - Viernes)</i>	<i>30</i>
<i>Figura 9 Curva de tráfico característica Bucaramanga - San Gil Diaria (Sábado - Domingo)</i>	<i>30</i>
<i>Figura 10 Curva de Costo del Servicio de Banda Ancha en San Gil.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 11 Curva de tráfico con Base=0 y Max=200.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 12 Curva de tráfico con Base=50 y Max=200.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13 Curva de tráfico con Base=190 y Max=200.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 14 Ratio Media - Máximo vs Ratio Modelo Económico - Modelo Tradicional</i>	<i>41</i>
<i>Figura 15 Curva de tráfico con Ancho de pulso = 0h.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 16 Curva de tráfico con Ancho de pulso = 3h.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 17 Curva de tráfico con Ancho de pulso = 17h.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 18 Gráfica de Desviación Estándar de la señal contra ancho del nivel alto</i>	<i>45</i>
<i>Figura 19 Cantidad de Circuitos Necesarios de Acuerdo al Ancho del Tráfico Pico</i>	<i>46</i>
<i>Figura 20 Gráfico de Ingresos Totales Caso Bucaramanga – San Gil.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 21 Curvas de Ingresos por Datos y por Telefonía para el caso Bucaramanga – San Gil.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 22 Curva de Ingresos Maximizada de la ruta Bucaramanga – San Gil.....</i>	<i>50</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Valor de los Servicios tenidos en cuenta para Optimización</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 2 Parámetros Estudio Relación Máximo - Base</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 3 Parámetros Caso Bucaramanga – San Gil</i>	<i>47</i>

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio busca encontrar una manera efectiva para el dimensionamiento, de tal manera que se maximice la utilidad de las empresas de Telecomunicaciones que prestan varios servicios implementados sobre una misma red de Telecomunicaciones de Larga Distancia.

Actualmente el dimensionamiento de las rutas se hace teniendo en cuenta única y exclusivamente el factor técnico, teniendo como meta la consecución de algunos indicadores operacionales como el GDS. Se propone dejar a un lado la meta del indicador operacional como tal, para manejar un indicador económico que redunde en ganancias para la compañía.

Por otra parte el dimensionamiento técnico por medio de históricos ocasiona redes sobre dimensionadas, ya que el comportamiento del tráfico de Larga Distancia es decadente, por lo que no es conveniente tener como eje del Negocio este servicio, sino que por el contrario se debe empezar a hacer una migración al servicio de Datos, el cual es el futuro servicio base de las empresas de Telecomunicaciones de Telefonía fija.

La teoría del tráfico consiste en calcular por medios probabilísticos la cantidad de circuitos necesarios para establecer llamadas de una central de conmutación a otra con una probabilidad de bloqueo determinada según el

número de abonados que se tengan. Uno de los métodos más utilizados es el de Erlang-B el cual sirve para calcular una de las tres variables fundamentales del tráfico (tráfico, probabilidad de bloqueo y número de circuitos) a partir de las otras dos. Este modelo esta basado en la teoría de colas que se rigen como una cadena de Markov o proceso Markoviano, con la suposición de fuentes infinitas y un sistema sin cola de espera.

2. TEORÍA DE TRÁFICO, BASES Y PRINCIPIOS

2.1. DEFINICIÓN DE TRÁFICO

Para desarrollar un estudio de tráfico es necesario definir en primera instancia este término tráfico, que es la medida de ocupación de un recurso limitado; la unidad con la que se mide el tráfico en el SI (Sistema Internacional) se denomina erlang. Un Erlang corresponde a la ocupación del 100% de un único circuito o línea telefónica. De esta manera, si se tiene una línea telefónica que permanece ocupada durante 8 horas del día, su medida de tráfico es de 0.25 erlangs. La medida de tráfico siempre es menor que la cantidad de circuitos que se tienen agrupados para prestar un servicio, por ejemplo, si se tiene una interconexión con 30 circuitos, el máximo valor del tráfico va a ser 30 erlangs.

Matemáticamente el tráfico se define como:

$$a = \frac{\sum_{M_j} t_{M_j}}{T} \quad (1)$$

Donde

a es el tráfico

t_{M_j} es el tiempo de ocupación del circuito M_j

M_j es cada uno de los circuitos que están agrupados para tramitar llamadas

T es el tiempo total de observación

Si se toma λ como la tasa de llegada de llamadas y h como el tiempo medio de duración de las llamadas, se tendría que:

$$a = \lambda h \quad (2)$$

Esto da otra interpretación del tráfico, el cual puede ser visto como la cantidad de llamadas que llegan en un periodo de tiempo igual al tiempo medio de servicio, o bien también se puede definir como la relación entre la tasa de llegada y la tasa de servicio (μ):

$$a = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3)$$

Dado el tráfico, se debe dimensionar la red (cantidad de circuitos) de tal manera que ofrezca niveles óptimos de grado de servicio.

El grado de servicio es el porcentaje de las tomas (intentos de llamada) que no pueden ser tramitadas ya que todos los recursos se encuentran indisponibles. En el mercado de las telecomunicaciones el grado de servicio buscado es del 0.2%, lo que quiere decir que 2 de cada 1000 llamadas no pueden ser procesadas por falta de recurso.

2.2. PROCESO DE GENERACIÓN DE LLAMADAS

Si se tiene un periodo de tiempo Δt para la observación de llegada de llamadas y este periodo se hace muy pequeño, se tienen las siguientes características:

Cuando $\Delta t \longrightarrow 0$:

1. La probabilidad de que se origine una llamada en el periodo $(t, t+\Delta t)$ tiende a $\lambda\Delta t$, independientemente de t .
2. La probabilidad de que se originen más de una llamada en el periodo $(t, t+\Delta t)$ tiende a 0.

Así se tiene la siguiente Distribución:

$$P(\text{se origine una llamada en } (t, t+\Delta t)) = \lambda\Delta t \quad (4)$$

$$P(\text{no se origine una llamada en } (t, t+\Delta t)) = 1 - \lambda\Delta t \quad (5)$$

De esta manera, el número de llamadas que se originan en el intervalo $(t, t+\Delta t)$ es una variable aleatoria con distribución de Bernoulli y parámetro $p = \lambda \Delta t$.

Ahora bien, si se quiere determinar la probabilidad de que se generen k llamadas en el intervalo $(0, t)$, dividimos en n partes de tamaño Δt el intervalo y tomamos la suma de la distribución de Bernoulli, lo que nos da una distribución binomial. Si tomamos el límite cuando n tiende a infinito (ya que Δt tiende a 0), se va a obtener una distribución continua de Poisson con tasa λ :

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Es de este punto que se puede deducir que el tráfico instantáneo ofrecido es un proceso poissoniano, ya que la cantidad de llamadas en curso y las terminadas son variables aleatorias independientes, cada una con una distribución de Poisson.

Si tomamos como esquema de estados, para este proceso una cadena, en donde cada estado es la cantidad de llamadas en proceso en un momento t , es decir, si $x(t) = j$ el estado se encontraría en el estado j . Se tiene que para pasar a un estado superior, debe llegar una llamada, y para pasar a un estado inferior debe acabar una llamada:

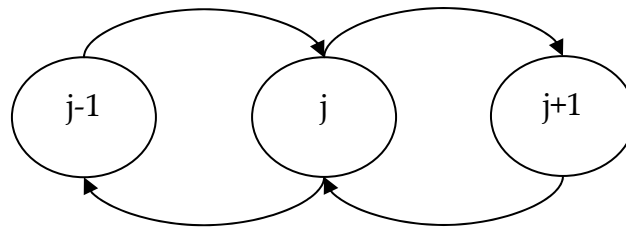


Figura 1 Mapa de estados para el proceso de nacimiento y muerte de conexiones telefónicas

Este modelamiento se conoce como proceso de Markov en tiempo continuo, ya que los estados futuros únicamente dependen del estado actual del sistema.

El proceso de Markov es un proceso probabilístico con memoria, es decir, la probabilidad de que suceda un evento depende del último evento que sucedió. Es importante señalar que un proceso de Markov es un proceso estocástico que cumple la propiedad de Markov, es decir, que su estado presente resume toda la historia del sistema hasta el estado actual, esto es importante por que dada esta propiedad, no es necesario cada vez que se va a mirar el estado siguiente revisar toda la historia del sistema sino que basta con tener en cuenta el estado actual del mismo.

Esta relación se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera:

$$P(X(t_{n+1}) = x_{n+1} | X(t_n) = x_n) \quad (7)$$

Esta cadena de Markov, cumple con las siguientes condiciones:

El tiempo de permanencia en el estado i es una variable aleatoria con distribución exponencial y media igual a $1/v_i$.

1. El tiempo de permanencia en el estado i es una variable aleatoria con distribución exponencial y media igual a $1/v_i$.
2. Cuando el proceso sale del estado i , la probabilidad de transición (\overline{P}_{ij}) satisface:

$$\overline{P}_{ii} = 0 \quad (8)$$

$$\sum_j \overline{P}_{ij} = 1 \quad (9)$$

Teniendo la probabilidad de transición de estado, resulta sencillo calcular la probabilidad instantánea de estado y con esta al aplicarle la ecuación de Chapman – Kolmogorov, y teniendo en cuenta la ecuación de conservación, se obtiene la probabilidad de estado en sí:

$$P_n = P_0 \prod_{j=0}^{n-1} \frac{\lambda_j}{\mu_{j+1}} \quad (10)$$

$$P_0 = \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \prod_{j=1}^n \frac{\lambda_{j-1}}{\mu_j} \right]^{-1}$$

Donde:

- n es el estado n -ésimo
 λ es la tasa de nacimiento de llamadas
 μ es la tasa de muerte de llamadas

2.3. *DISTRIBUCIÓN DE ERLANG B*

Como se mencionaba anteriormente, la medida de grado de servicio, se hace por medio de la probabilidad de bloqueo, la probabilidad de bloqueo es por definición la siguiente:

$$B = \frac{a_o - a_c}{a_o} \quad (11)$$

Donde

- a_o es el tráfico ofrecido
 a_c es el tráfico cursado

En otras palabras, la probabilidad de bloqueo es la proporción del tráfico que se pierde con respecto al tráfico que la gente esta demandando.

Para el caso en cuestión el sistema telefónico de larga distancia de Santander, se trata de un sistema con un número finito de circuitos, sin cola de espera, y con una población potencial mucho mayor que la cantidad de circuitos disponibles, por lo que se puede suponer una tasa de llegada independiente del estado del sistema.

El diagrama de estados de este modelo, sería el siguiente:

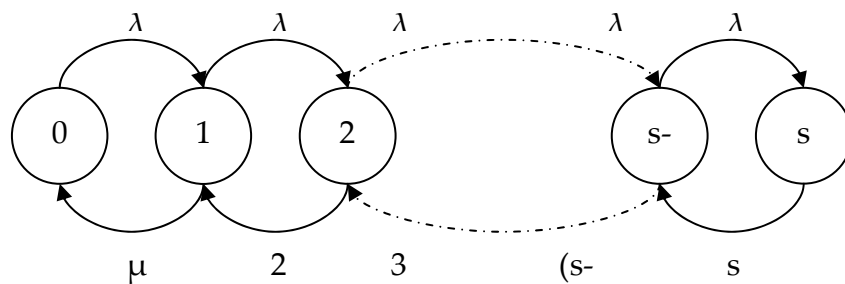


Figura 2 Mapa de Estados para un proceso Markoviano con circuitos finitos

Al calcular la probabilidad de estados, se debe truncar la ecuación que se halló anteriormente para el caso general:

$$P_n = \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0 \quad \text{Para } 0 \leq n \leq s \quad (12)$$

Aplicando (3) tenemos que:

$$P_n = \frac{a^n}{n!} \frac{1}{\sum_{k=0}^s \frac{a^k}{k!}} \quad (13)$$

Ahora bien, para calcular la probabilidad de bloqueo se tiene que:

$$a_0 = \frac{\lambda}{\mu} = a \quad (14)$$

$$a_c = (1 - P_s)a = \left(1 - \frac{a^s}{s!} \frac{1}{\sum_{k=0}^s \frac{a^k}{k!}} \right) a \quad (15)$$

De acuerdo a (11):

$$B = P_s = \frac{a^s}{s!} \frac{1}{\sum_{k=0}^s \frac{a^k}{k!}} \quad (16)$$

De (16) se deduce la siguiente ecuación recursiva, la cual facilita el cálculo de la distribución $E_s(a)$ (lease probabilidad de bloqueo ErlangB con s circuitos y a tráfico):

$$E_s(a) = \frac{aE_{s-1}(a)}{s + aE_{s-1}(a)}$$

con

(17)

$$E_0(a) = 1$$

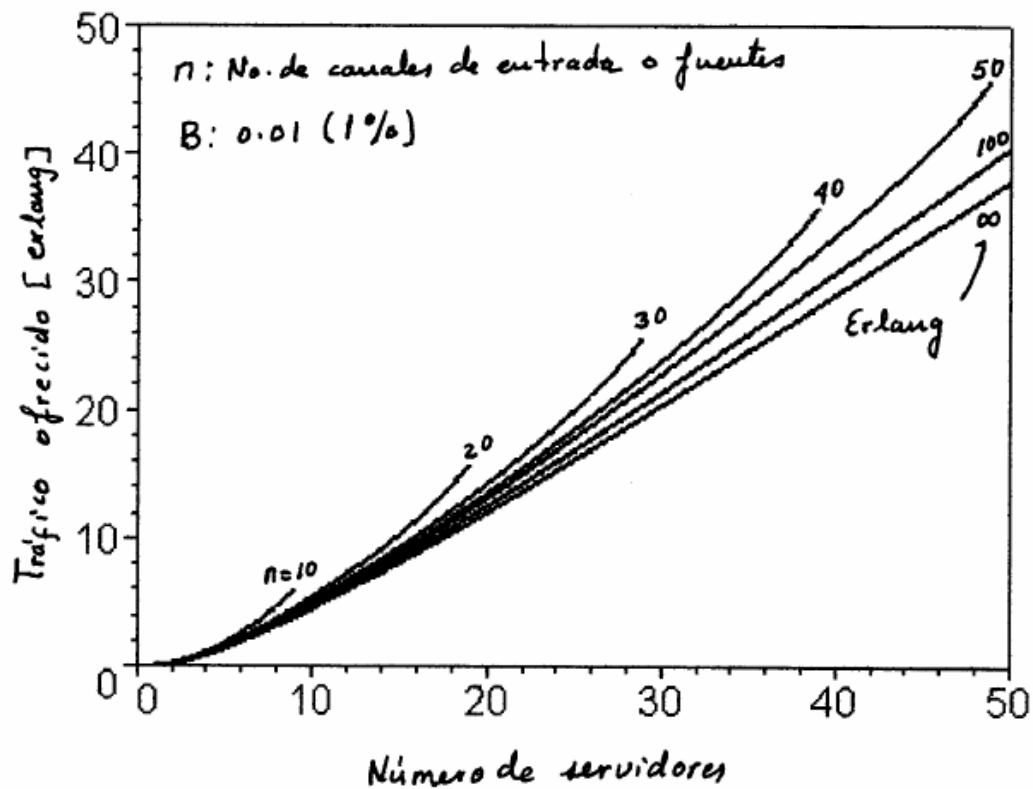


Figura 3 Curva de ErlangB¹

Teniendo toda la formulación de la teoría de tráfico, es viable dar inicio a un ejercicio de dimensionamiento para la red de telecomunicaciones de cualquier empresa; sin embargo, es necesario conocer los datos y parámetros

¹ Tomada de Notas de Telégrafico, 2001 – Nestor Misael Peña T

iniciales con los que se va a dimensionar la red, dado que de acuerdo con dichos parámetros, se va a tener en principio, una cantidad determinada de circuitos, y con ellos, a medida que varíe el tráfico por la red, variará la calidad del servicio prestado. Es por esto que se hace necesario identificar la información con la que se debe alimentar el modelo.

3. IDENTIFICACIÓN DE LA CURVA DE TRÁFICO PARA UN CASO DE TELECOM

3.1. *CARACTERIZACIÓN DE CURVAS DE TRÁFICO*

Sobre la caracterización de curvas de tráfico se ha trabajado relativamente poco, el modelo que se utiliza para este fin esta basado en la estadística y la recopilación de una buena cantidad de datos, de tal manera que la distribución se comporte como una distribución normal de acuerdo al teorema del límite central.

El tráfico se puede medir de manera instantánea o también se puede tener un promedio de tráfico por un cierto periodo de tiempo, para el caso de una caracterización de la curva de tráfico, es necesario determinar un periodo de tiempo donde el mismo se comporte de manera uniforme, es por esta razón que se tomaron medidas horarias del tráfico que se va a analizar.

Dentro de las posibles rutas a analizar, se tiene una gran diversidad gracias a la dispersión de municipios que presenta el departamento de Santander, para este estudio se seleccionó la ruta que interconecta las ciudades de Bucaramanga y San Gil; se escogió esta ruta por la importancia turística que tiene el municipio de San Gil dentro de la economía del departamento y por que todo el tráfico que se curse desde esta ciudad debe hacer escalada

obligada en Bucaramanga. Este estudio se puede repetir para cualquier ruta, ya que está expresada en términos generales como un modelo y no como un estudio específico para esta ruta.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA RUTA BUCARAMANGA – SAN GIL

Se tomaron las mediciones de tráfico de las rutas entre AXE Bucaramanga – NEAX San Gil y entre NEAX Bucaramanga – NEAX San Gil, siendo la primera el respaldo de la segunda. Durante el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2006 hasta el 11 de julio de 2006. Entonces se tienen 191 mediciones por cada hora del día por cada una de las rutas. Lo cual hace tomar validez al Teorema de Limite Central el cual propone que toda distribución se comporta como Normal cuando se tiene $N > 30$, donde N es la cantidad de muestras que se tienen.

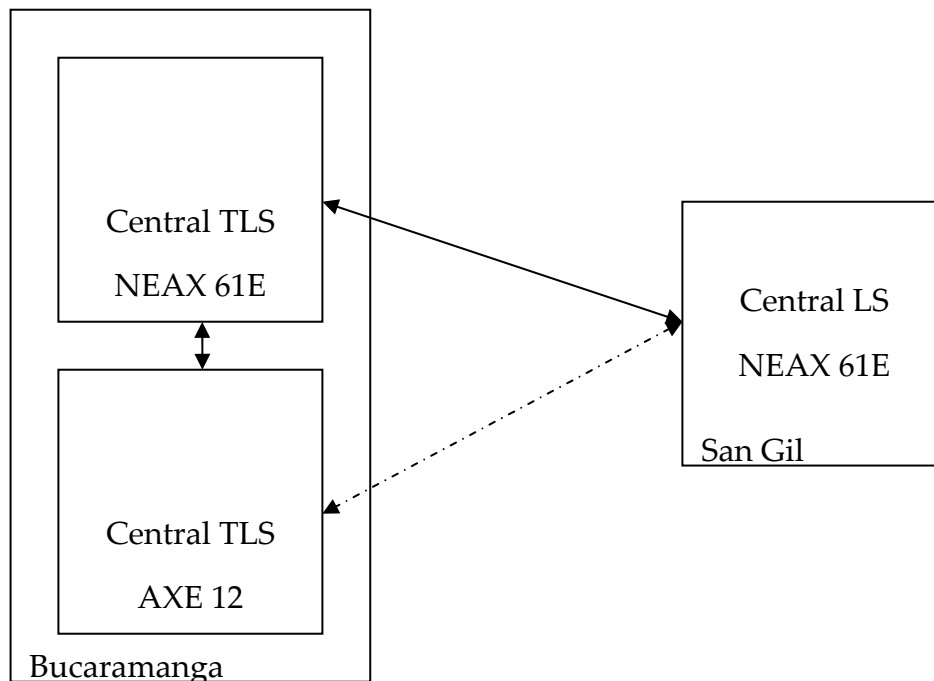


Figura 4 Diagrama Lógico de Interconexión Centrales Bucaramanga - San Gil

Para obtener el tráfico total cursado entre las dos ciudades, y de esta manera dimensionar por medio de teoría de tráfico sin tener en cuenta que se trata de una ruta con redundancia, se suma el tráfico cursado por cada una de las rutas hora a hora, teniendo así el tráfico total cursado entre las dos ciudades.

De acuerdo a la distribución Normal que se está manejando, se tiene que un 95% de los datos están dentro de la campana en la media y más o menos dos desviaciones estándar ($\mu \pm 2\sigma$), es por esta razón que para el dimensionamiento de la red y caracterización de la curva de tráfico, se tomara el valor de la media de cada uno de los puntos más 2 veces la desviación estándar, de tal manera que se asegure que el tráfico generado se va a

satisfacer, pero que a la hora del dimensionamiento no se van a tener en cuenta los picos del mismo (día de la madre, día del padre, Año nuevo, etc).

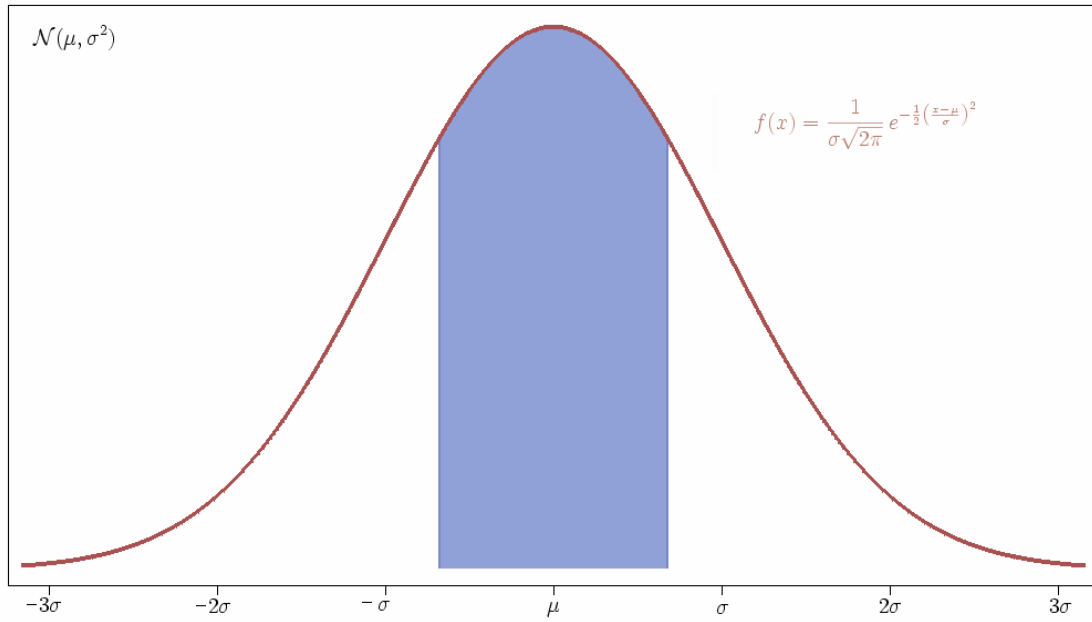


Figura 5 Distribución Normal²

A continuación se presenta la curva de tráfico semanal para la ruta que interconecta las ciudades de Bucaramanga y San Gil:

² Tomada de <http://www.wikipedia.org>

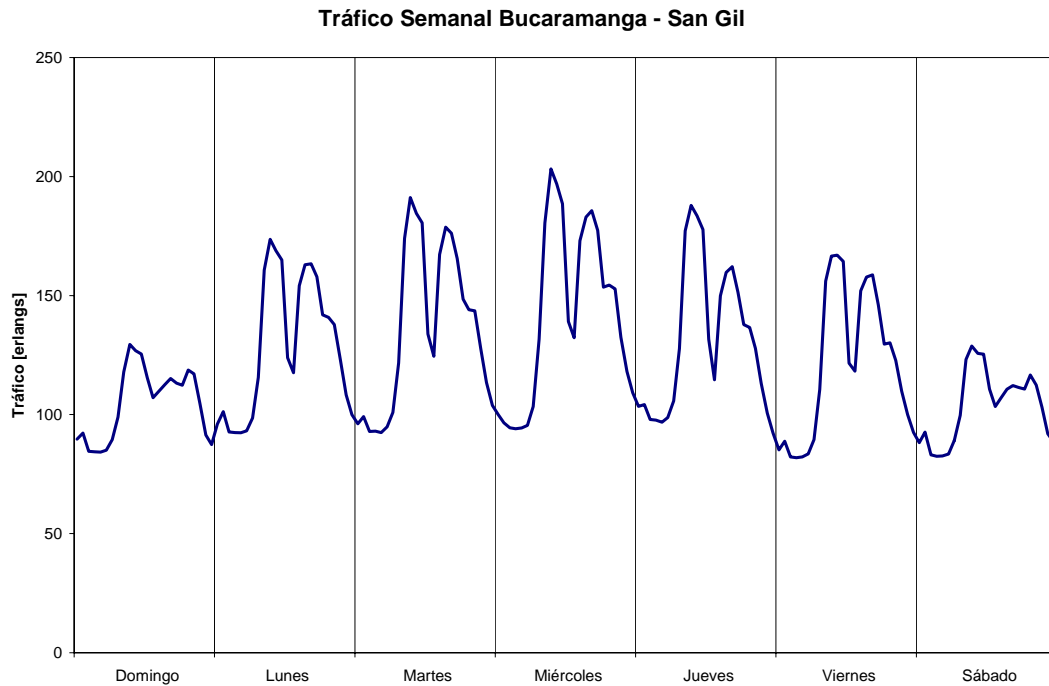


Figura 6 Curva de tráfico característica Bucaramanga - San Gil Semanal

Como se puede observar, el comportamiento o la forma de la curva de tráfico de los días de lunes a viernes es similar entre sí, así como la de los sábados y domingos entre sí; y el comportamiento de los días de fin de semana es diferente al de los días entre semana.

Para el estudio que se va a realizar, se tendrá en cuenta esta curva característica, dada la variabilidad que hay entre el fin de semana y los días entre semana, y de esta manera darle una mayor sensibilidad al modelo.

De esta misma manera se pueden obtener las curvas características diaria, de día laboral y de fin de semana para esta ruta, las cuales se presentan a continuación:

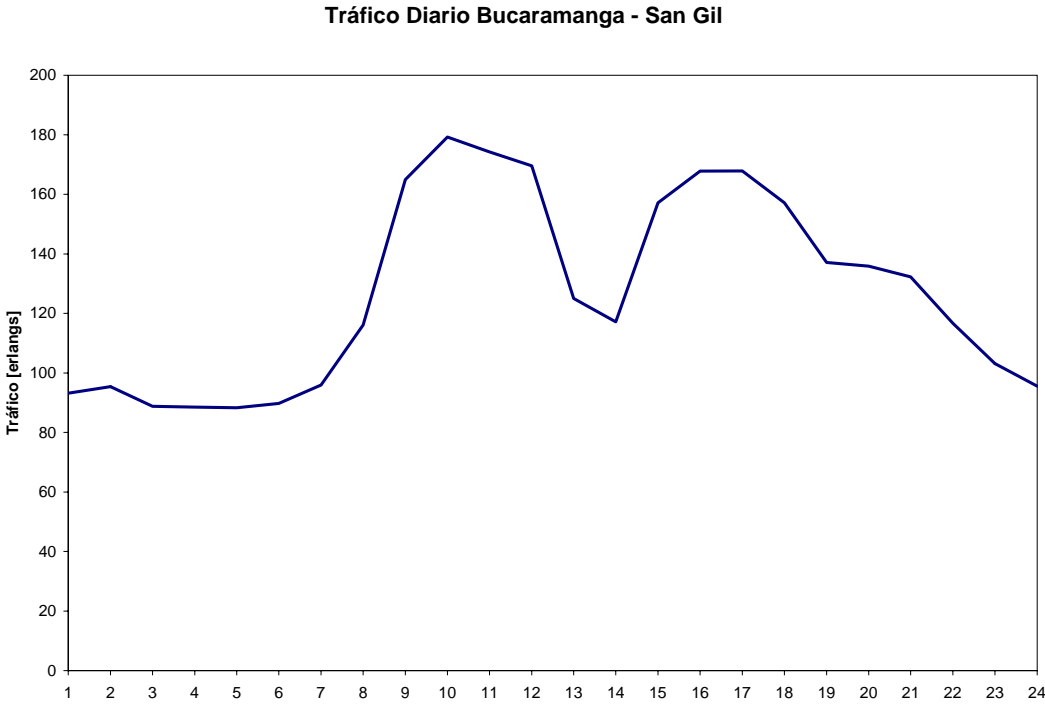


Figura 7 Curva de tráfico característica Bucaramanga - San Gil Diaria

Tráfico Entre Semana Bucaramanga - San Gil

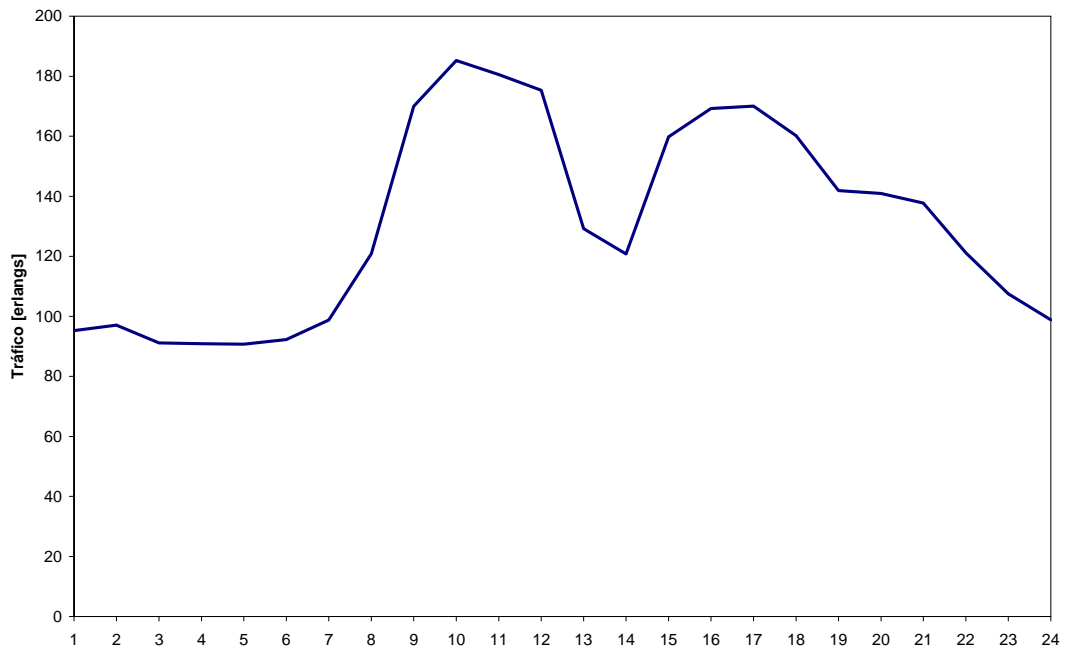


Figura 8 Curva de tráfico característica Bucaramanga - San Gil Diaria (Lunes - Viernes)

Tráfico Fin de Semana Bucaramanga - San Gil

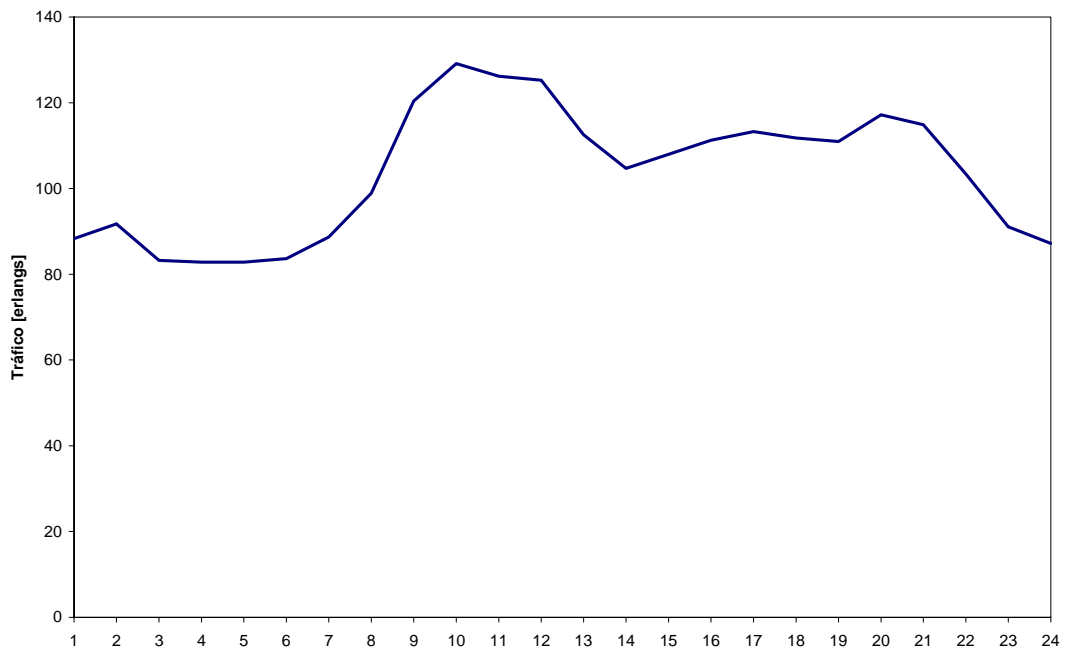


Figura 9 Curva de tráfico característica Bucaramanga - San Gil Diaria (Sábado - Domingo)

Si se tuviera una red capaz de dimensionarse dinámicamente, se podría programar una capacidad diferente en transmisión para cada hora del día y para cada día de la semana, pero como esa no es la realidad de nuestra red, el dimensionamiento se realiza con el máximo de tráfico sin tener en cuenta los picos anormales. Si se tuvieran en cuenta los picos anormales se obtendría una red sobredimensionada y por lo tanto el desperdicio de un recurso valioso como lo es la capacidad en transmisión.

4. RECOLECCIÓN DE DATOS DE COSTOS ENLACES DEDICADOS Y DE LLAMADAS DE LARGA DISTANCIA

Para este punto se trabajo con el equipo comercial de Telefónica – Telecom, el costo por las llamadas de larga distancia cambian de acuerdo al destino a nivel nacional, como el origen y el destino se encuentran en el mismo departamento se trata de una llamada clasificada como Local Extendida, para este tipo de llamadas se tiene una tarifa de 249 pesos más iva. Este valor sin tener en cuenta promociones, las cuales no se deben tener en cuenta en el estudio pues no son el comportamiento natural del mercado y afectan fuertemente la curva de oferta y demanda, de tal manera que genera picos anormales en el funcionamiento de la red.

Según los estudios recientes el mercado de las telefonía fija viene decreciendo, mientras el de Datos esta en auge, actualmente las compañías alquilan un canal dedicado para satisfacer sus necesidades de telecomunicaciones y a través de este envían todos los servicios que requieren (Voz, Imágenes, Datos), a medida que los servicios que requieren aumentan de complejidad o de volumen se hace necesario obtener un ancho de banda mayor, lo cual indica que hay una mayor utilización de la capacidad de transmisión para el sector de datos, así mismo en el hogar, la entrada de la

telefonía móvil y de la Voz sobre IP ha hecho perder terreno al mercado de la Telefonía Fija de Larga Distancia, el producto de Voz sobre IP está basado en la prestación del servicio de Banda Ancha, el cual en la actualidad consume una gran proporción de la capacidad de transmisión de Telefónica – Telecom.

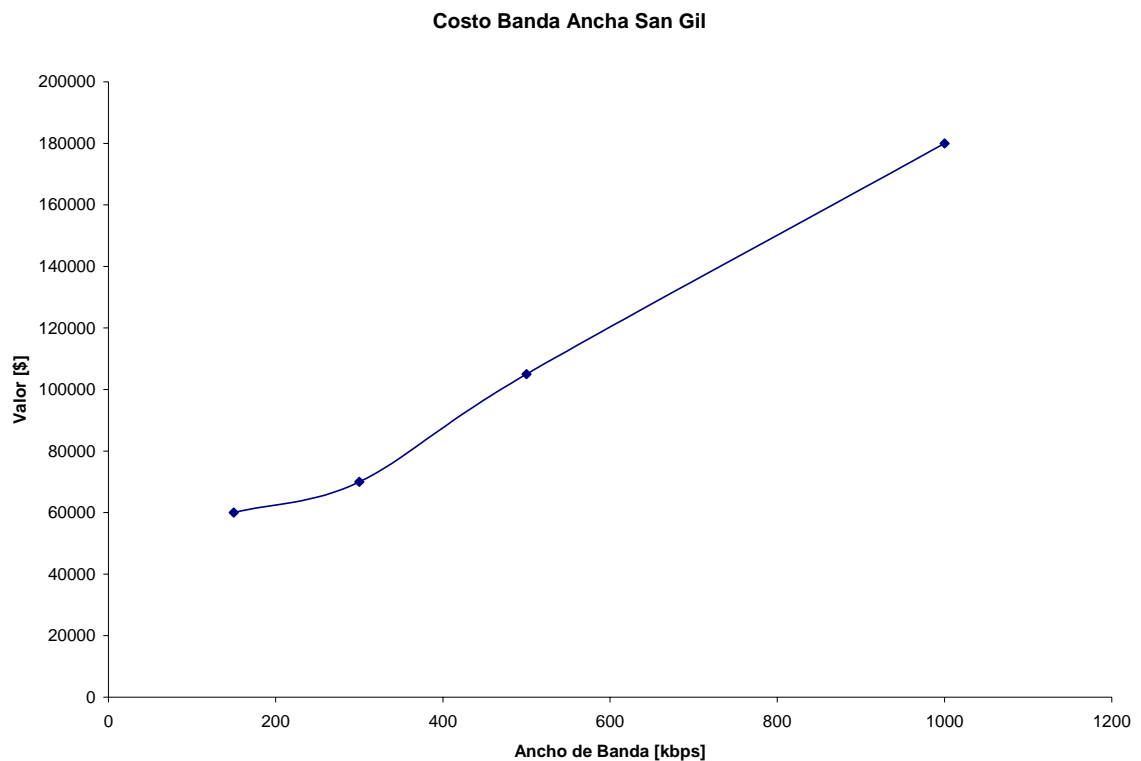


Figura 10 Curva de Costo del Servicio de Banda Ancha en San Gil

El servicio de Banda Ancha permite la reutilización del medio y no garantiza la confidencialidad de los datos transmitidos ni el ancho de banda al usuario, adicionalmente por estar sobre el protocolo IP, se requiere de un encabezado y throughput es bajo con respecto a un canal Clear Channel. Para este modelo se va a trabajar con canales Clear Channel, los cuales disminuyen la

complejidad del modelo por asegurar el recurso físico para el cliente al no permitir la reutilización del medio. El valor de un canal Clear Channel para cualquier ciudad de Santander es de \$4'595.000.

El valor de un canal dedicado es mucho mayor que el de un canal de Banda Ancha del mismo ancho de banda, pero esto se ve recompensado por la reutilización del medio y los valores reales captados por la compañía llegan a ser similares.

Pues así, se tienen los siguientes valores para el modelo:

Tabla 1 Valor de los Servicios tenidos en cuenta para Optimización

Servicio	Valor	Periodo de tiempo
E1 dedicado	4595000	mes
Telefonía LE	249	minuto

5. MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE RUTAS DE ACUERDO A LA CURVA DE TRÁFICO

5.1. *DIMENSIONAMIENTO CON EL MÉTODO ACTUAL SEGUIDO EN TELECOM*

De acuerdo al taller de Medición y Análisis de Tráfico realizado a finales del año 2005, por Colombia Telecomunicaciones S.A. ESP el criterio más adecuado para hacer un óptimo dimensionamiento debe comenzar por hacer una diferenciación entre carga normal y carga elevada. La carga normal representa las condiciones normales de demanda del servicio y bajo las cuales se debe prestar un servicio con la mayor calidad de servicio posible. La carga elevada representa las condiciones anormales de operación o menos frecuentes, para las cuales no es un deber satisfacer la demanda del servicio. Teniendo en cuenta esto se tienen los siguientes parámetros:

- Se deben tomar las mediciones horarias por mes.
- Se determina el valor pico del tráfico durante cada uno de los días del mes en estudio.
- Se toma el cuarto valor más alto del mes (excluyendo los valores atípicos p.e. Día de la Madre) y con este valor se dimensiona la ruta por medio de la distribución probabilística de Erlang B.

- Para hacer un dimensionamiento más acertado, se toman los valores mensuales calculados de todo el año y se selecciona el mayor de ellos para el diseño de la red.

Para este trabajo se presentara la comparación de los resultados a nivel técnico y económico de este método tradicional y el propuesto por este documento.

5.2. DIMENSIONAMIENTO POR MÉTODOS ECONÓMICOS

El dimensionamiento propuesto en este trabajo consiste en la maximización de los ingresos generados por la utilización de los canales de transmisión. En el punto anterior se mostró como se hace el cálculo en la actualidad, ese es un método totalmente centrado en la parte técnica. A continuación se presenta la metodología seguida para el dimensionamiento de los canales con una visión técnico – económica.

Como primera instancia se trabaja sobre la curva de trafico característica de la ruta, de la cual se explicó la metodología de cálculo en el capítulo anterior, sobre esta curva, se calcula hora a hora el tráfico que es cursado por medio de la distribución de Erlang B (Ecuaciones 11 y 17) para una cantidad N de circuitos.

$$a_{ci} = a_{oi} - a_{oi} E_N(a_{oi}) \quad (18)$$

Donde

- a_{ci} Es el tráfico cursado en la hora i
- a_{oi} Es el tráfico ofrecido en la hora i
- $E_N(a_{oi})$ Es la probabilidad de Bloqueo con N circuitos cuando se ofece un tráfico a_{oi}

Para esta cantidad N de circuitos se calcula el dinero que es percibido por telefonía, y de acuerdo a la demanda de canales dedicados se asigna la capacidad que se requiera a este con su respectivo valor, la suma de estos dos valores es la cantidad de dinero percibido por el uso de este recurso.

$$I = I_T + I_D \quad (19)$$

Donde

- I Son los ingresos totales por la capacidad de la ruta
- I_T Son los ingresos por concepto de Telefonía
- I_D Son los ingresos por concepto de Datos

Para encontrar el valor óptimo de N se procede a utilizar el método de ventana móvil, de tal manera que el valor de N va aumentando de cinco en cinco y si se encuentra en esta ventana una inflexión de la curva se trata del máximo de la función de ingresos.

Cuando la demanda de Datos es mayor que la capacidad disponible después de asignar el recurso a la telefonía, se le asigna la capacidad restante del enlace de tal manera que se utiliza el total del ancho del canal.

Se comienza por la asignación de la voz pues es el servicio más rentable que tiene la compañía para este medio, si se utilizara un E1 durante todo un mes todo el tiempo, se obtendrían ingresos de \$10'756.800 mientras que si se vende como un canal dedicado tan solo se tienen ingresos de 4'595.000.

La ocupación del 100% es algo utópico, por lo que se hace atractiva la venta de canales dedicados, ya que se asegura el ingreso aunque sea menor, los canales de voz deben bajo esta filosofía cubrir la base de la curva de tráfico y una porción de los picos, en cuanto el dinero de las llamadas generadas por los picos empieza a ser menor que la generada por el alquiler del canal, empieza a ser más rentable la solución en Datos.

5.3. COMPARTAMIENTO DEL MODELO CON LA VARIACIÓN DE LA RELACIÓN MÁXIMO – MEDIA

Para observar como el modelo se comporta con la relación máximo – media de la curva de tráfico se hace el siguiente estudio, en el se deba un valor pico constante y se empieza a aumentar la base de manera tal que se pueda tener un curva que relacione la cantidad de circuitos dedicados a la telefonía y el ratio entre el pico y la media de la demanda. Este estudio es tan solo teórico,

pues curvas de este estilo no suelen presentarse en la realidad de una red de telecomunicaciones.

Se utilizara para este estudio los parámetros de la Tabla 2, los cuales indican con que resolución se correrá el modelo para obtener la curva final de relación. En este caso se utilizaran los valores económicos expuestos en la Tabla 1, y se asumirá demanda infinita de servicio de datos, dado que este servicio tiene un coste mucho menor que el de Telefonía y viene en un crecimiento vertiginoso.

Tabla 2 Parámetros Estudio Relación Máximo - Base

Parametro	Valor	Unidad
Base inicial	0	erlangs
Máximo	200	erlangs
Δ Base	10	erlangs

Para este apartado del estudio, tendríamos curvas de tráfico como las mostradas en la Figura , Figura y Figura . A estas curvas se les aplica el modelo y obtenemos la curva de relación máximo – media de la señal.

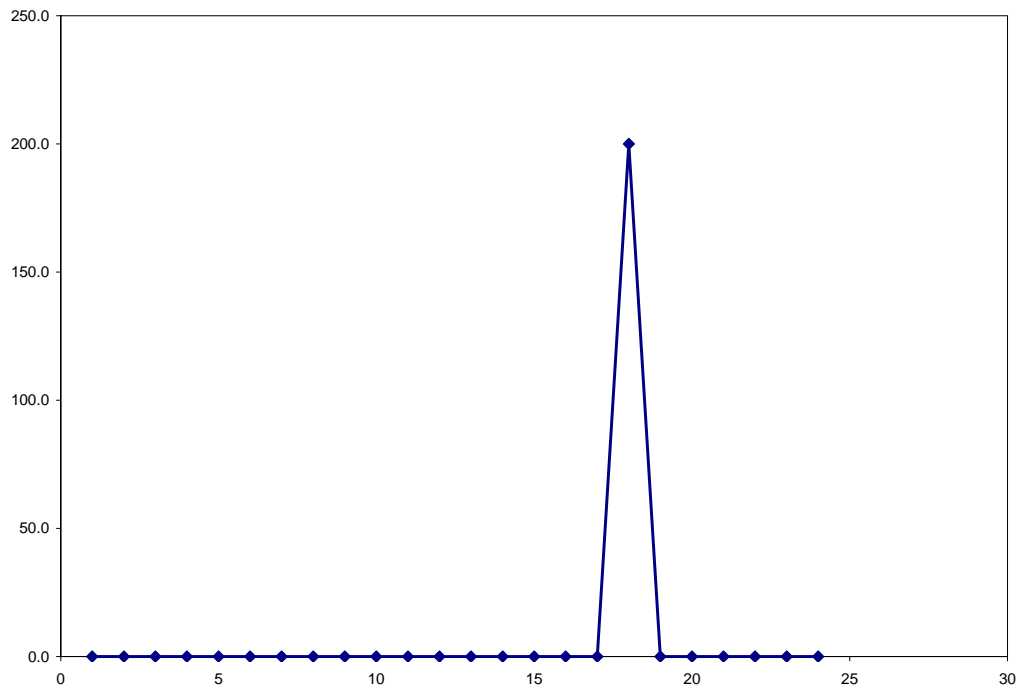


Figura 11 Curva de tráfico con Base=0 y Max=200

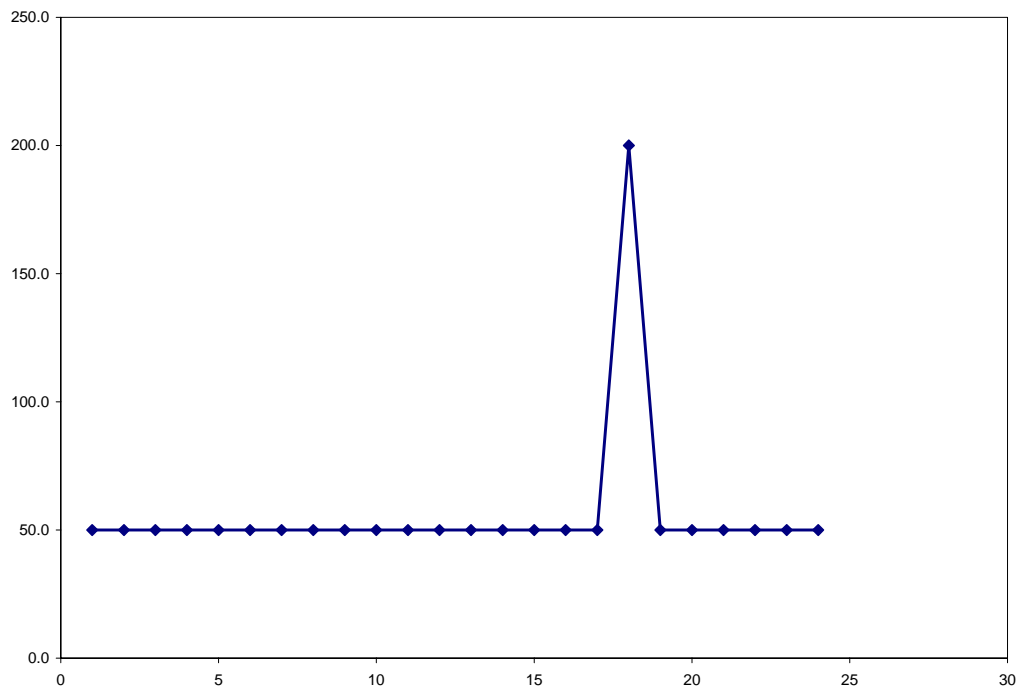


Figura 12 Curva de tráfico con Base=50 y Max=200

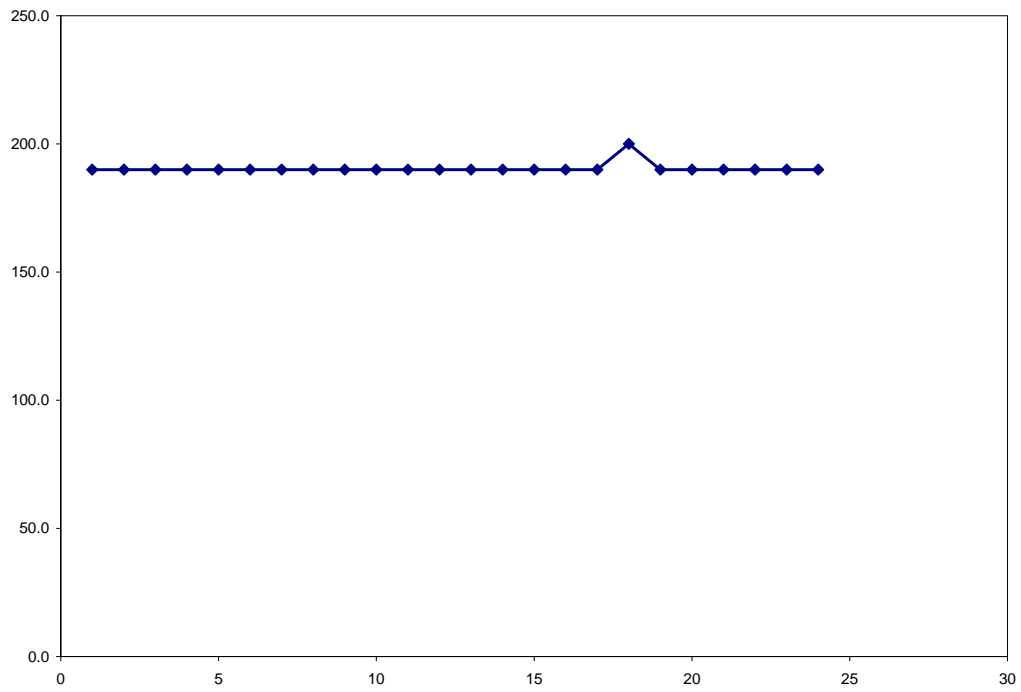


Figura 13 Curva de tráfico con Base=190 y Max=200

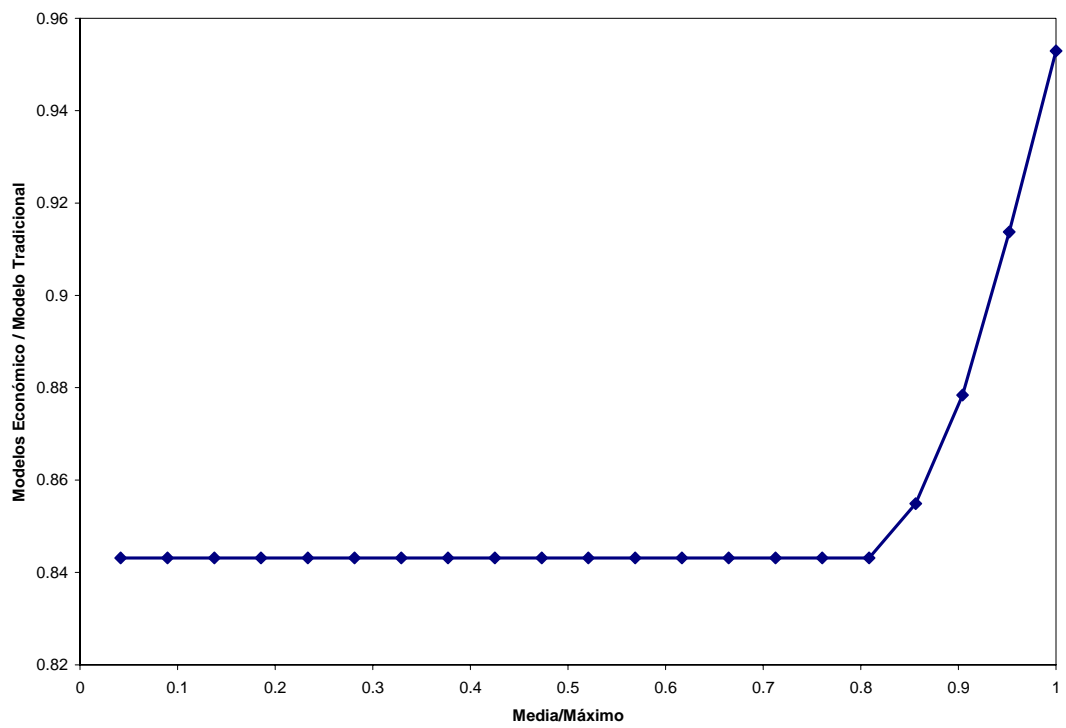


Figura 14 Ratio Media - Máximo vs Ratio Modelo Económico - Modelo Tradicional

Como se puede observar en la Figura , a medida que la curva se va volviendo más plana, el modelo económico propuesto en el presente trabajo se va acercando al dimensionamiento hecho por el método tradicional.

Es importante notar que antes de llegar a una relación del 80% entre el máximo y la media de la curva, el método propuesto nos da un dimensionamiento del 15.7% menos, con un grado de servicio del 1.8% para la hora pico, es decir, de cada 100 llamadas de larga distancia que se generen por esta ruta 1.8 no serán tramitadas, lo cual para una sola hora del día es un indicador aceptable, ya que el resto del día se tiene una probabilidad de bloqueo de tan solo 0.0001%.

5.4. COMPARTAMIENTO DEL MODELO CON LA VARIACIÓN DEL ANCHO DEL TRÁFICO PICO

En la sección anterior se observó el comportamiento del modelo con la variación de la relación entre la media de la señal y el máximo de la misma, en esta sección se busca observar el comportamiento con el cambio del ancho del pico de tráfico, esto en términos estadísticos se traduce a la variación de la desviación estándar.

Se va a trabajar con una señal escalón (primera integral de la señal impulso) con nivel bajo en 100 erlangs y nivel alto 200 en erlangs; el ancho del tráfico

pico (200 erlangs) se aumentara hora a hora desde 0 horas de ancho hasta que se complete el día.

En las Figura 15, Figura 16, y Figura 17 se observa la curva de tráfico que se va a tener en cuenta durante esta fase del estudio, así como en la Figura 18 se tiene la gráfica de la variación estándar contra el ancho del pulso.

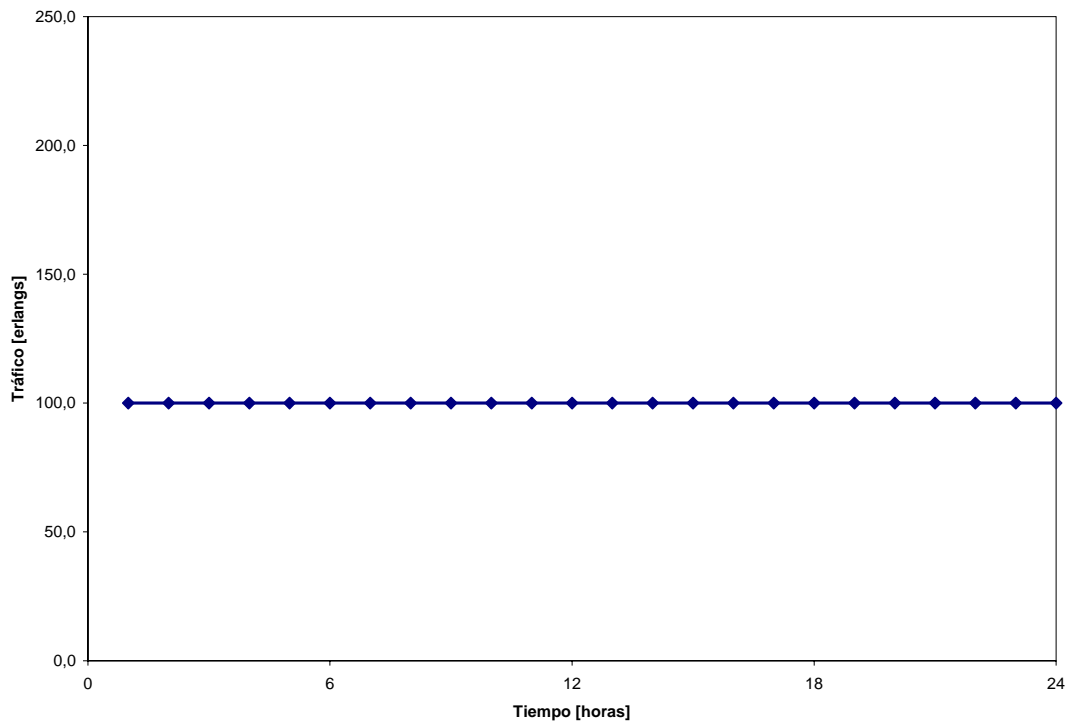


Figura 15 Curva de tráfico con Ancho de pulso = 0h

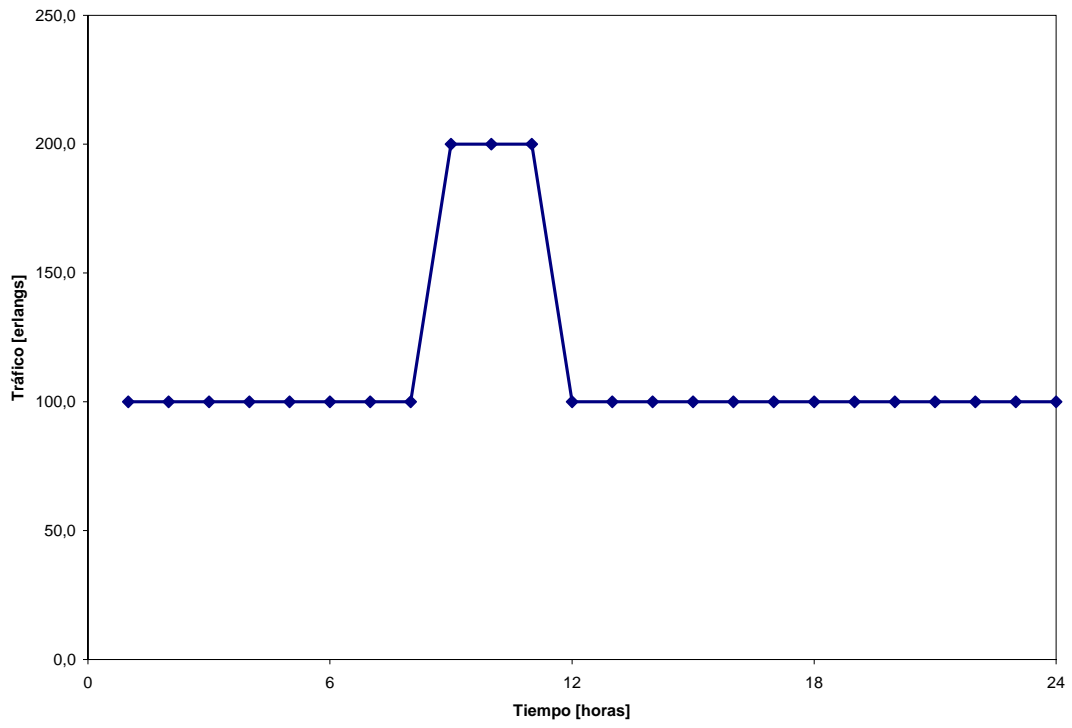


Figura 16 Curva de tráfico con Ancho de pulso = 3h

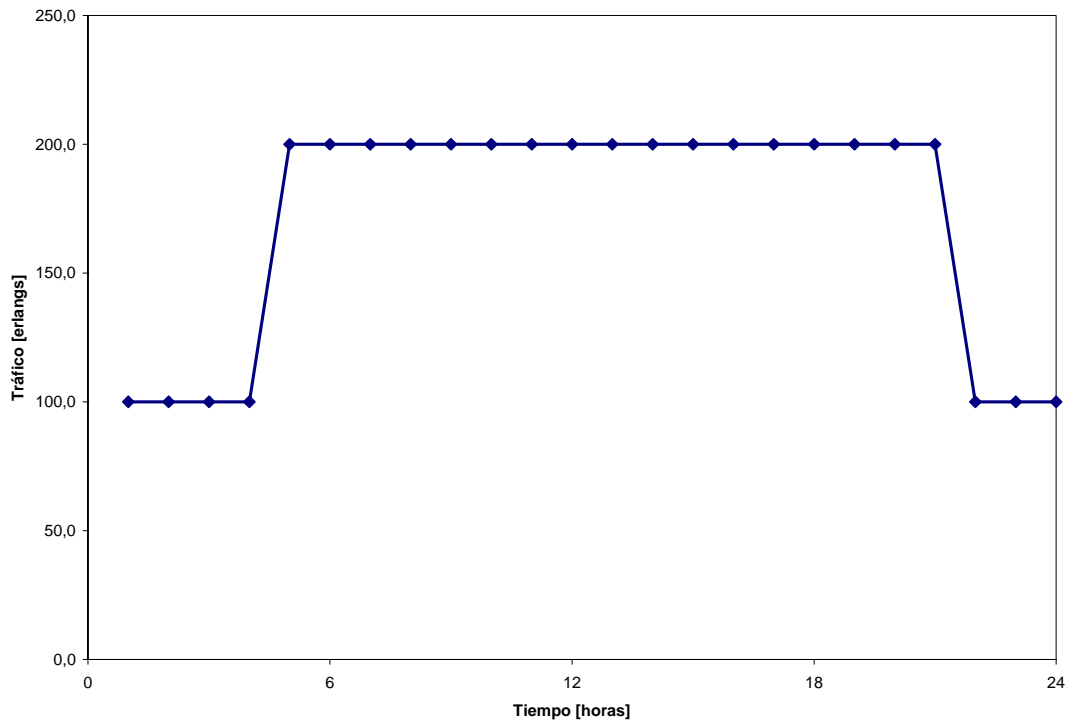


Figura 17 Curva de tráfico con Ancho de pulso = 17h

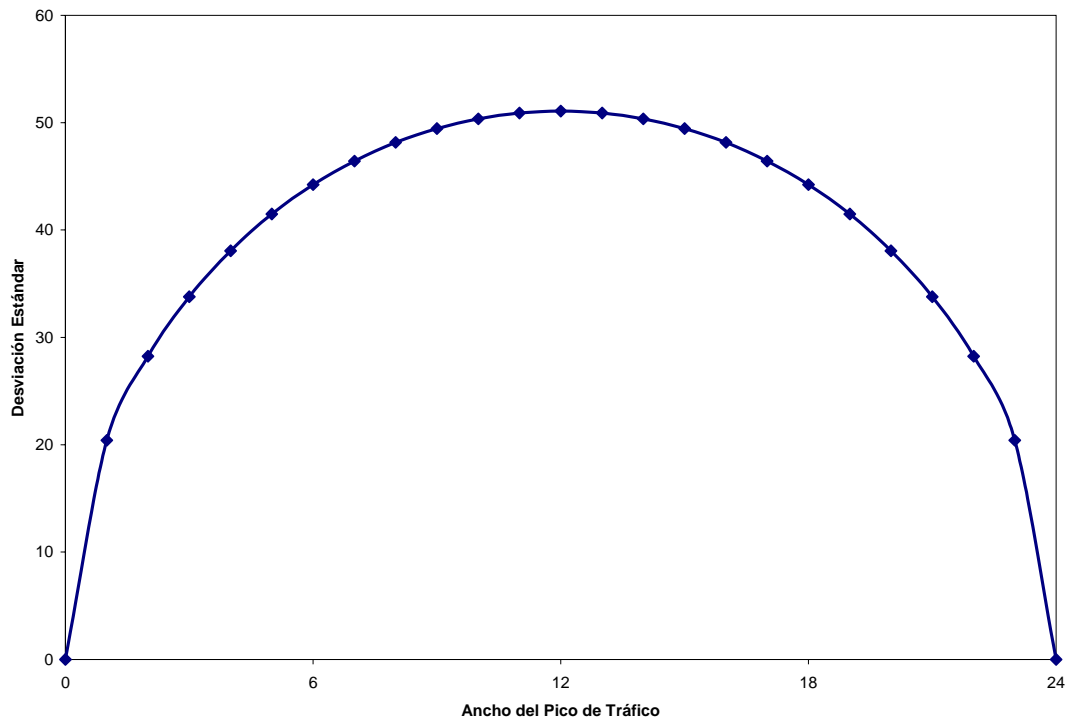


Figura 18 Gráfica de Desviación Estándar de la señal contra ancho del nivel alto

Al aplicar el modelo se encuentra a estas curvas de tráfico se encuentra que con el modelo propuesto se tiene sensibilidad a la hora de manejar la dispersión del tráfico, esto sucede por que en el modelo se tienen en cuenta todos los datos de la curva y no tan solo el tráfico pico, con el cual se dimensiona en el modelo tradicional.

Se observa que a medida que el ancho del pulso aumenta se acerca al modelo tradicional, (297 circuitos al aplicar el modelo de Erlang B con un tráfico de 200 erlang y una probabilidad de bloqueo de 0.001), este valor siempre se mantiene por debajo del modelo tradicional, ya que se tiene dentro del modelo una demanda infinita del servicio de datos.

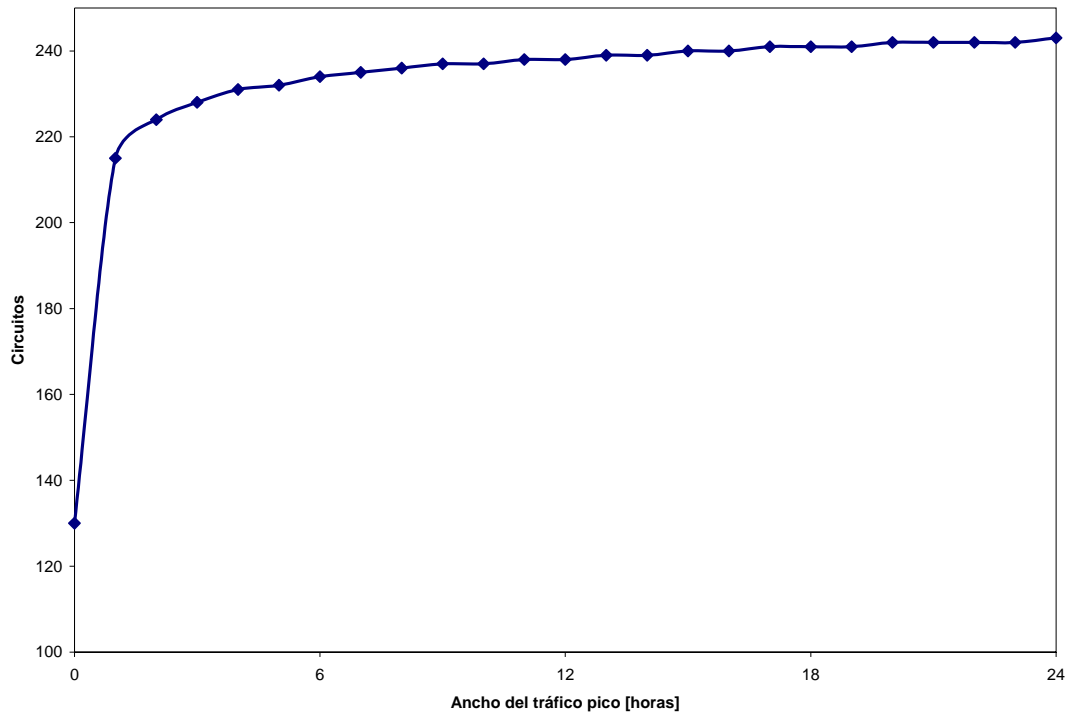


Figura 19 Cantidad de Circuitos Necesarios de Acuerdo al Ancho del Tráfico Pico

5.5. *MODELO TÉCNICO – ECONÓMICO APLICADO A LA RUTA BUCARAMANGA – SAN GIL*

En las dos secciones anteriores de observo la aplicación del modelo a casos teóricos, a continuación se presentara la aplicación del modelo propuesto a un caso real, la ruta Bucaramanga – San Gil de la red de Colombia Telecomunicaciones S.A. ESP (Telefónica – Telecom). Como se vio en el Capítulo 2, se trabajó para la normalización de la curva de tráfico con datos tomados desde el 1 de enero de 2006 hasta el 11 de julio de 2006.

Durante la aplicación del modelo se observó que con una mínima demanda del servicio de datos, la cantidad de recurso que se debe dedicar al servicio de telefonía es menor que la dimensionada con el modelo tradicional. Las curvas de tráfico normalizadas tenidas en cuenta son las mostradas en el final del capítulo 2, de estas, la que se acondicionó finalmente al modelo fue la curva semanal, de tal manera que se tuviera en cuenta tanto el comportamiento de los días entre semana como el de los días que se encuentran en el fin de semana y días festivos.

Tabla 3 Parámetros Caso Bucaramanga – San Gil

Parametro	Valor	Unidad
Valor del E1 por mes	4595000	pesos
Valor del minuto telefonía	249	pesos
Total E1s Instalados	63	E1s

A continuación se presenta la curva de Ingresos para este caso, sobre la cual se optimiza el recurso limitante, que para el caso, es el STM1 que interconecta estas dos ciudades.

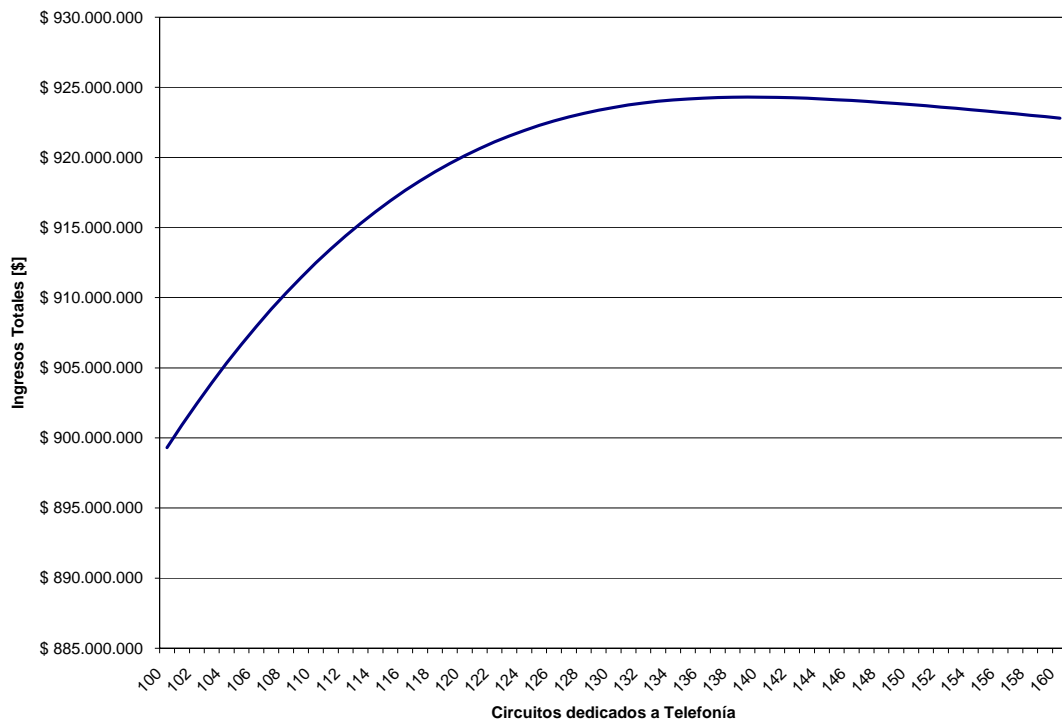


Figura 20 Gráfico de Ingresos Totales Caso Bucaramanga – San Gil

En la curva de Ingresos Totales (Figura 20), se puede observar que la curva tiene un punto de inflexión, para hallar dicho punto se puede utilizar la primera derivada, pero para este caso por tratarse de un sistema discreto se utilizó un método numérico para el cálculo de la misma. En la Figura 21, se pueden observar las dos curvas de Ingreso que componen la curva de Ingresos Totales, estas curvas son el Ingreso por Telefonía y el Ingreso por

Datos. Como se observa en la gráfica, los Ingresos por datos son lineales mientras que el ingreso por Telefonía tiene un comportamiento No Lineal.

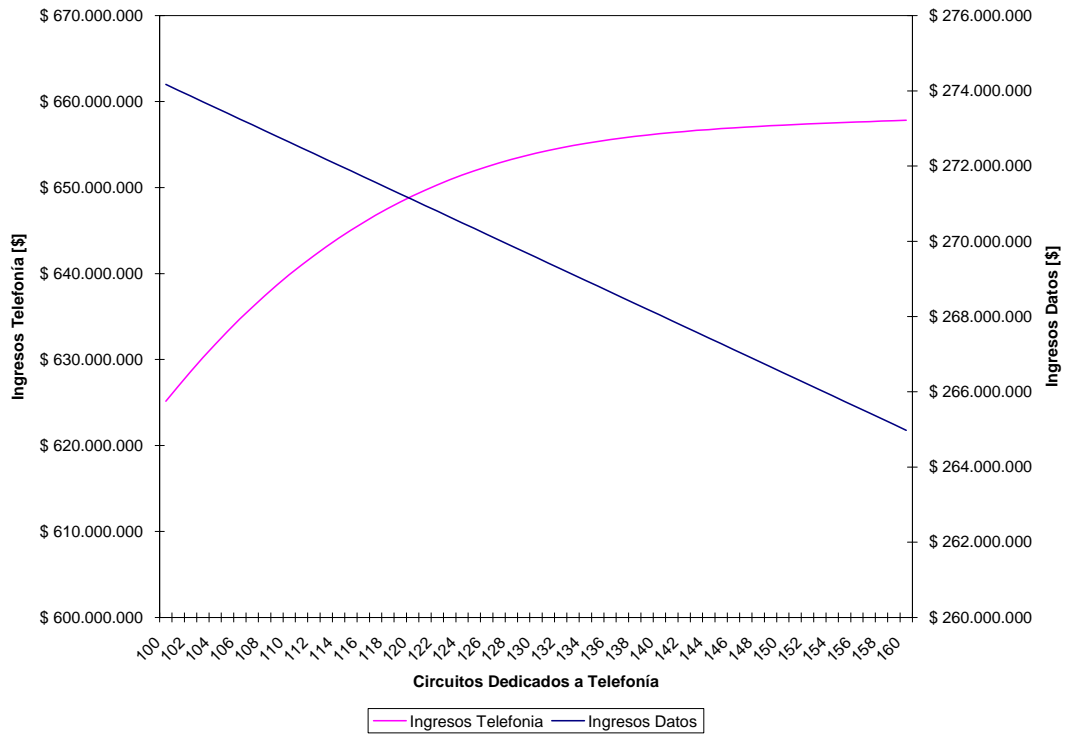


Figura 21 Curvas de Ingresos por Datos y por Telefonía para el caso Bucaramanga – San Gil.

Al aplicar el método de bisección, se encuentra que para este caso el máximo se encuentra cuando se dedican 139 circuitos al servicio de telefonía y el resto se usa en Datos. En la Figura 22 se observa la gráfica en dicho punto.

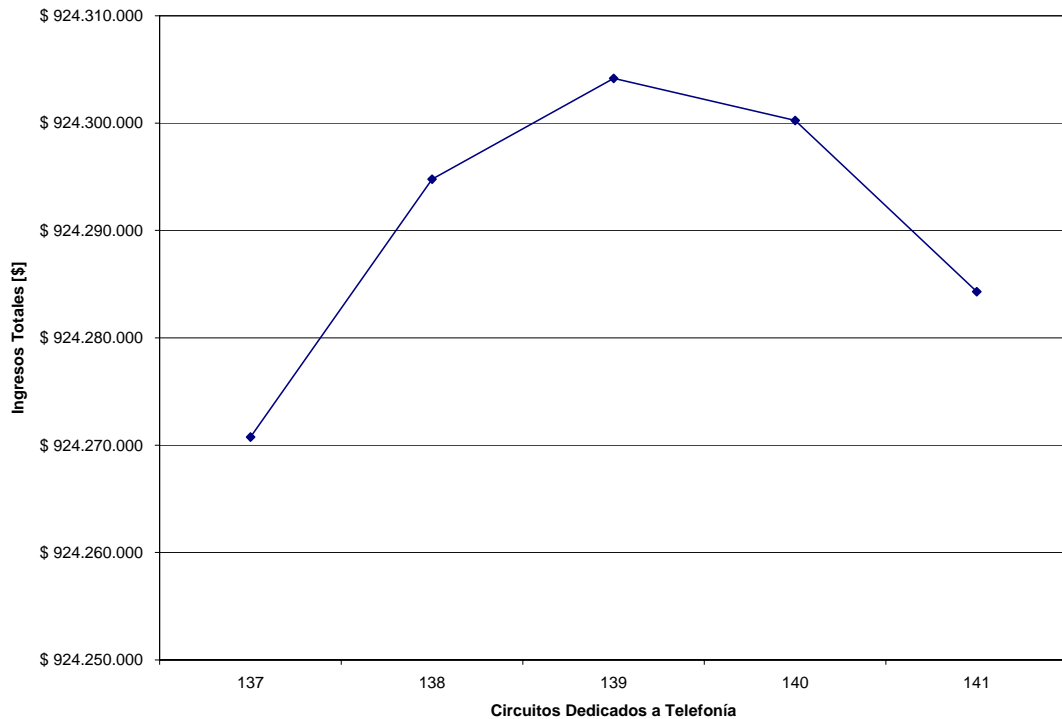


Figura 22 Curva de Ingresos Maximizada de la ruta Bucaramanga – San Gil

Al hacer el dimensionamiento con el método tradicional se tiene que se debe atender un tráfico de 101.96 erlangs, para esto es necesario tener 171 circuitos dedicados al servicio de Telefonía, para llegar a un grado de servicio de 0.001. Mientras que con el modelo propuesto se utilizarían tan solo 139 circuitos. En términos económicos, en un año se percibirían \$ 11.091'650.009 utilizando 139 circuitos, si se utilizaran 171 se percibirían 11.058'628.358, teniendo como déficit un total de aproximadamente 33 millones de pesos. Estos valores se dan sin tener en cuenta que para ofrecer estos servicios se incurre en gastos de soporte y mantenimiento, pero estos valores de mantenimiento son

similares para los dos servicios, por lo que al tenerlos en cuenta el resultado en cuestión de eficiencia debe mantenerse constante.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de este estudio se ha llegado a la conclusión de que se puede llegar a dimensionar la red de una Empresa Prestadora de Servicios de Telecomunicaciones de una manera diferente a la convencional, esta manera de realizarlo ofrece ventajas como un mayor ingreso y desventajas como una mayor complejidad en su elaboración.

Por medio de este modelo se asegura la atención a la base de la curva de tráfico, y se da recurso para atender los picos de tráfico diario, hasta el momento es que es rentable esta solución.

Si se aplica este método al dimensionamiento de la red, se asegura la liberación de recursos, lo cual a su vez, permite tener una mayor capacidad disponible para el mercado emergente de los Datos, esta capacidad ya instalada y lista para operar se traduce en ventaja competitiva con otras compañías que deben hacer procesos de ampliación para llegar a lugares apartados de la geografía Nacional.

Es necesario tener en cuenta que la disminución de circuitos para la prestación del servicio, inexorablemente derivara una disminución de la calidad del servicio durante las horas pico, según el estudio hecho se puede llegar a tener una probabilidad de bloque del 1.8% el cual, si bien es un valor

aceptable no es deseable, dado que la red es susceptible a fallas y este valor tiende a aumentar.

Se hace imprescindible hacer un estudio profundo de impacto de marca para aplicar este modelo, ya que el aumento de grado de servicio, si bien ya no se ve reflejada regulatoriamente en el Factor Q de la tarifa, se ve reflejado en el Nivel de Satisfacción del Usuario, y se torne necesario hacer dicho estudio para analizar las posibles pérdidas que la mala percepción del usuario podrían llegar a ocasionar.

Este proyecto debe ser el inicio de un proyecto más amplio en el cual se haga la formulación matemática estricta del modelo, teniendo como herramienta para la maximización de la curva el cálculo diferencial y no los métodos numéricos, de tal manera que el tiempo de cálculo y complejidad del modelo disminuyan y sea de fácil aplicación a toda la red de una compañía.

El método tradicional es un modelo que ofrece buenos resultados para una curva de tráfico con una varianza baja, ya que solo tiene en cuenta uno de los datos, por lo que si la desviación de los datos es alta, ofrece resultado erróneos, mientras que el modelo propuesto al tener en cuenta todos los puntos de la curva de tráfico se ajusta al cambio de la misma. En el caso de tener equipos con asignación de recursos inteligentes o programables, se puede llegar a tener una curva de asignación de recurso en vez de un recurso fijo, esto optimizaría el ancho de banda de acuerdo a la hora tanto para el servicio de Telefonía como para los otros servicios.

El dimensionamiento de la red es una actividad que va profundamente ligada con los ingresos de la compañía, pues a partir de este se hace un uso óptimo de los recursos con los que cuenta una empresa, es por esta razón que no se pueden separar el factor económico de un modelo completo de dimensionamiento, el afán de todas las empresas por mejorar su utilidad operacional, hace que el dimensionamiento técnico – económico deje de ser algo deseable y pase a ser algo necesario dentro del desarrollo de la red.

7. BIBLIOGRAFÍA

PEÑA TRANSLAVIÑA, Néstor Misael. Notas de Clase de Curso de Teoría de Telegráfico. En: Universidad de los Andes – Segundo Semestre 2001.

RAMÍREZ MONCADA, Ernesto. Estudio técnico – económico para selección de nivel de tensión en MT. Bogotá D.C, 2003, 73p. Trabajo de Grado (Ingeniero Eléctrico). Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

MANZANO ASCANIO, Julio Cesar. Notas del Taller de Medición y Análisis de Tráfico. En: Colombia Telecomunicaciones S.A. ESP – 2006.

ROSS, Sheldon. Introduction to Probability Models. Edición Sexta. Academia Press, 1997.

Distribución Normal (online). Wikipedia, La Enciclopedia Libre.

http://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_normal .

SOLIMAN, Samir. Continuous and Discrete Signals and Systems. Edición Segunda. Prentice Hall, 1997.

PAXSON. Wide Area Traffic: The failure of poisson modelling. En: IEEE/ACM Transactions on Networking. Vol 3, No. 3; 1995.

SPIEGEL, Murray. Probabilidad y Estadística. Edición Segunda. Mc Graw Hill, 2001.

A. ANEXO 1 CODIGO FUENTE MODELO DE TRÁFICO

A continuación se presenta en código fuente de las rutinas que fueron realizadas para el estudio de tráfico, en el se encuentran desarrolladas funciones en Visual Basic para Aplicaciones (VBA) para Excel de Microsoft Office. Las funciones que se presentan solucionan la distribución de ErlangB para calcular Probabilidad de Bloqueo y Cantidad de Circuitos. Dentro de esta adicionalmente se tiene como paso inicial la aproximación de Rigault la cual sirve para dar un primer indicio de la cantidad de circuitos necesarios para el correcto funcionamiento de una red de Telecomunicaciones.

Function Erlangb(a As Double, s As Integer)

'Esta función devuelve la probabilidad de Bloque dado un tráfico

a

'y una cantidad de circuitos s

If (s <= 0) Then ' fin de la recursividad

Erlangb = 1

Else

aux = Erlangb(a, s - 1) 'Función Recursiva

*Erlangb = (a * aux) / (s + a * aux) ' Formula Recursiva*

End If

End Function

Function rigault(a As Double, b As Double)

' Esta función hace la primera aproximación por medio de la formula de

' Rigault a la cantida de circuitos que se requieren para tener una probabilidad de

' Bloqueo b con tráfico a

*rigault = a + Log(b) * (-1) * Round(Sqr(a), 0)*

End Function

Function circuitos(a As Double, b As Double)

'Esta función devuelve la cantidad de circuitos necesarios para atender un

'tráfico a con una probabilidad de bloqueo b

Dim s As Integer

s = rigault(a, b) 'Se llama la primera aproximación para disminuir tiempo de calculo

While (Erlangb(a, s) > b)

s = s + 1 'Se aumenta la cantidad de circuitos hasta que cumple con la probabilidad

'de bloqueo

Wend

circuitos = s

End Function

Para la maximización de la curva de Ingresos se utiliza un método de bisección simple el cual consiste en ir partiendo el dominio de la curva por la mitad, teniendo siempre dentro de la mitad que se conserva el máximo.